

---

**ANALISA DATA PASANG DAN SATELIT ALTRIMETRI SEBAGAI KAJIAN  
FLUKTUASI MUKA AIR LAUT DI PESISIR KOTA SURABAYA PERIODE  
2000-2009****Yulian Fahmi Sageta, Sugeng Widada, Heryoso Setiyono <sup>\*)</sup>**

Program Studi Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan  
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Soedharto, SH, Tembalang Semarang. 50275 Telp/Fax (024) 7474698

**Abstrak**

*Daerah pesisir Surabaya adalah daerah dengan topografi cukup landai yaitu mempunyai kemiringan 0-2%. Kondisi yang demikian menyebabkan pesisir Surabaya rentan sekali terhadap dampak kenaikan muka air laut. Kenaikan muka air laut dipresentasikan dengan kenaikan MSL (mean Sea Level) yang dipengaruhi oleh pemuaian thermal. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar fluktuasi muka air laut serta dampak yang ditimbulkannya. Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2010 dengan lokasi daerah Pesisir Surabaya. Analisis data dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak komputer yaitu Ms Excel, Er Mapper, Arc GIS, dan SPSS 16. Materi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer yaitu pengamatan lokasi genangan rob, data pasang dan suhu udara, sedangkan data sekundernya yaitu berupa peta rupa bumi Indonesia, data tinggi muka air laut dari satelit Jason dan data DEM. Berdasarkan hasil analisis terjadi fluktuasi muka air laut di perairan Surabaya dengan nilai MSL tertinggi pada tahun 2008 yaitu sebesar 162,11 cm dan MSL terendah pada tahun 2006 sebesar 155,64 cm. Hasil regresi linier dari data pengamatan pasang surut menunjukkan kenaikan sebesar 0,366 cm/tahun, sedangkan hasil satelit Jason menunjukkan kenaikan 1,537 cm/tahun. Kenaikan muka air laut menyebabkan dampak banjir rob di pesisir Surabaya dengan total luas yang tergenang mencapai 42,57 km<sup>2</sup> pada tahun 2009.*

**Kata Kunci :** Pemanasan Global, Kenaikan Muka Air Laut, Daerah Pesisir Surabaya

**Abstract**

*Coastal areas of Surabaya are the areas with sloping topography, the slope is between 0-2%. This condition causes the coastal areas Surabaya become very vulnerable to the impacts of sea level rise. Sea level rise presented with MSL (mean Sea Level), which is affected by thermal expansion. The purpose of this study was to determine how much the sea level fluctuations and its impacts. The research was conducted in January 2010, in Surabaya coastal areas. Data analysis was performed using Microsoft Excel, ER Mapper, ArcGIS and SPSS 16. The material of this study includes primary data, such as: location of a pool of rob; tide data; air temperature, and secondary data, that are : Indonesian map form of the earth, sea level data from the Jason satellite and DEM data. Based on the analysis was found an increase in sea levels of Surabaya, with the highest value of MSL in 2008 that is equal to 162,11 cm and the lowest MSL in 2006 in the amount of 155.64 cm. The results of linear regression of tidal observation data, showed an increase of 0.366 cm / year, while the Jason satellite show an increase 1.537 cm / year. A sea level rise caused by the floods in the coastal rob Surabaya, the amount of flooded area reached 42.57 km<sup>2</sup> in 2009.*

**Keywords:** Global Warming, Sea Level Rise, Coastal Surabaya

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

## I. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang mempunyai 17.508 pulau baik besar maupun kecil dengan panjang garis pantai 81.000 km (Dahuri, 1995). Kondisi demikian mengakibatkan Indonesia rentan terhadap kenaikan muka air laut yang diakibatkan oleh pemanasan global. Pemanasan global adalah naiknya suhu udara secara global (Susandi et al, 2007). Pemanasan global menyebabkan dampak yang sangat luas, salah satunya adalah perubahan ketinggian muka air laut. Karakteristik perubahan ketinggian muka laut dapat bersifat periodik maupun tak periodik. Kedudukan muka laut periodik terjadi secara alamiah sedangkan kedudukan muka laut tak periodik dapat dikatakan sebagai perubahan sekular muka laut. Perubahan sekular merupakan perubahan level laut jangka panjang (Nurmaulia et al, 2005).

Fenomena naiknya muka laut direpresentasikan dengan naiknya MSL (*mean sea level*) yang dipengaruhi secara dominan oleh pemuaian thermal (*thermal expansion*) sehingga volume air laut bertambah. Mencairnya es di kutub dan gletser juga memberikan kontribusi terhadap perubahan kenaikan muka laut. Dari beberapa dekade terakhir perubahan kedudukan muka laut diestimasi dari pengukuran di stasiun pasut.

Surabaya merupakan kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta yang sebagian wilayahnya terletak di daerah pesisir. Mayoritas wilayah Kota Surabaya berada di dataran rendah yang memiliki kelerengan antara 0-2 %. Kondisi demikian menyebabkan wilayah Surabaya bagian pesisir rentan terhadap dampak kenaikan permukaan air laut. Penelitian ini dilakukan untuk memberikan informasi kondisi kenaikan permukaan air laut dan dampak yang ditimbulkan dengan mengkaji nilai MSL (*mean sea level*) dalam 10 tahun terakhir yang didapatkan dari data pasang surut.

### 1.2. Pendekatan Masalah

Naiknya muka laut (*Sea level rise*) merupakan salah satu permasalahan penting yang harus dihadapi oleh negara-negara pantai atau negara kepulauan di dunia termasuk Indonesia. Fenomena alam ini perlu diperhitungkan dalam semua kegiatan pengelolaan wilayah pesisir, karena dapat berdampak langsung seperti erosi garis pantai, penggenangan wilayah daratan, meningkatnya frekuensi dan intensitas banjir, meningkatnya dampak badai di daerah pesisir, salinisasi lapisan akuifer dan kerusakan ekosistem wilayah pesisir.

Kemunduran garis pantai dapat mengganggu aset-aset penduduk, mengganggu perkembangan ekonomi penduduk bahkan menyebabkan terjadinya perpindahan penduduk yang mendiami wilayah-wilayah rentan di sepanjang pesisir. Surabaya merupakan kota yang terletak di daerah pesisir pantai utara Jawa yang terdiri dari 28 kecamatan dan 163 kelurahan dengan luas wilayah sekitar 32.667 ha (BPS, 2008). Secara garis besar kota Surabaya merupakan dataran rendah yang mempunyai tingkat elevasi hingga 5 meter elevasi pasang rendah dan kemiringan antara 0-2%. Kondisi yang demikian menyebabkan kota Surabaya rentan dengan kenaikan muka air laut. Hal ini akan menyebabkan terganggunya aktivitas daerah pesisir Surabaya yang memegang peranan penting dalam perekonomian kota Surabaya.

### 1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan penyederhanaan masalah mengenai analisa data pasang surut di perairan Surabaya dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Tidak ada subsidi daratan
2. Faktor lokal yang dikaji adalah suhu udara permukaan
3. Skenario kenaikan muka air laut yang diperoleh dari pengolahan data dan analisis statistik dianggap statis setiap tahunnya
4. Tidak ada perubahan topografi yang ekstrim hingga tahun 2010
5. Dalam pembuatan model genangan air laut digunakan asumsi tidak ada perubahan penggunaan lahan dan tidak dilakukan perlindungan terhadap garis pantai.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar fluktuasi muka air laut dengan menggunakan data pasang surut serta data satelit Altimetri serta dampak yang ditimbulkannya.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi baik terhadap pemerintah kota Surabaya, maupun masyarakat mengenai seberapa besar fluktuasi muka air laut sehingga dapat dilakukan kebijakan agar dampak yang ditimbulkan tidak terlalu besar.

## II. Materi dan Metode

### 2.1. Materi Penelitian

Materi yang digunakan pada penelitian ini meliputi data lapangan (data primer) dan data hasil pengukuran oleh instansi atau peneliti lain (data sekunder). Data primer meliputi data GPS lokasi daerah genangan rob di pesisir Surabaya. Data sekunder meliputi data pengukuran pasang surut pelabuhan Tanjung Perak Surabaya 2000-2009 oleh PT. Pelindo III Surabaya, pengamatan suhu udara tahun 2000-2009 oleh BMKG kelas II Maritim Perak Surabaya, Peta Rupa Bumi Indonesia kota Surabaya skala 1:25.000 tahun 2005 publikasi Bakosurtanal, dan data DEM SRTM. Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2009 sampai dengan bulan Januari 2010 di pesisir kota Surabaya.

### 2.2. Metode

#### 2.2.1. Metode Penelitian

Metode penelitian menggunakan metode studi kasus. Menurut Hadi (1993), studi kasus adalah penelitian terhadap suatu kasus secara mendalam yang hanya berlaku pada tempat, waktu dan populasi yang terbatas, sehingga memberikan gambaran tentang situasi dan kondisi secara lokal dan hasilnya tidak dapat digeneralisasikan untuk tempat dan waktu yang berbeda. Metode sampling menggunakan sampling purposif yaitu penentuan lokasi sampling dengan pertimbangan tertentu oleh peneliti.

#### 2.2.2. Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data pasang surut dilakukan dengan cara pengamatan langsung. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan tide gauge yang dilakukan oleh PT. Pelindo III Surabaya. Mekanisme tide gauge adalah mengetahui ketinggian air laut dengan menggunakan floating kemudian merekamnya pada alat pencatat tiap satu jam. Data satelit diperoleh dengan cara mendownload dari <http://www.aviso.oceanobs.com/>.

Daerah batas rob dilakukan dengan metode visual yaitu pengamatan secara langsung daerah yang tergenang dan bekas daerah tergenang rob untuk mengetahui ketinggian rob pada suatu daerah. Untuk mengetahui daerah tergenang rob secara tepat dilakukan studi terlebih dahulu mengenai daerah pesisir Surabaya dari penelitian yang telah dilakukan dan melakukan wawancara secara langsung terhadap penduduk sekitar pesisir Surabaya. Daerah yang tergenang maupun batas rob ditandai dengan GPS. Pengamatan suhu udara dilokasi penelitian dilakukan oleh BMKG dengan menggunakan termometer bola kering, dimana termometer bola kering lebih cepat berubah dari pada thermometer bola basah.

#### 2.2.3. Metode Analisis Data

##### 2.2.3.1. Analisa Data Pasang Harian

Analisis data pasang pada tahun 2008 dan 2009 dilakukan dengan metode Admiralty 29 hari untuk menentukan tipe pasang surut di lokasi kajian.

##### 2.2.3.2. Analisis Pasang Surut Bulanan

Data pasang bulanan tiap jam yang didapatkan dari Tanjung Perak Surabaya dianalisa untuk mendapatkan nilai MSL bulanan, HHWL dan LLWL. Data pasang surut tersebut dianalisa dengan menggunakan persamaan sebagai berikut untuk mendapatkan nilai MSL bulanan (Pariwono, 1995) :

$$X_i = \frac{1}{N} \times \sum_{j=1}^n X_j$$

$X_i$  = nilai rerata bulan ke  $i$

$N$  = jumlah jam pengamatan dalam 1 bulan

$X_j$  = tinggi muka air laut pada jam ke  $j$

Dari MSL bulanan akan didapatkan nilai MSL tahunan dengan menggunakan persamaan diatas. HHWL dan LLWL didapatkan dengan cara manual yaitu dengan mencari nilai tertinggi dan terendah dalam satu bulan. Nilai tertinggi menunjukkan nilai HHWL sedangkan nilai terendah adalah LLWL.

##### 2.2.3.3. Laju Kenaikan Muka Air Laut Berdasarkan Regresi Linier

Untuk mendapatkan nilai rata-rata fluktuasi muka laut tahunan maka digunakan regresi linier dengan metode kuadrat kecil. Data MSL bulanan yang didapatkan dari tahun 2000-2009 diurutkan secara berkelanjutan tiap bulan dalam sebuah grafik. Nilai fluktuasi didapatkan dengan menggunakan rumus (Triatmojo, 1999)

$$g(x) = a + bx$$

keterangan :  
 g : Perubah tak bebas  
 x : Peubah bebas  
 a : Konstanta  
 b : Kelandaian (slope) kurva garis lurus

untuk nilai a dan b diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - [\sum_{i=1}^n x_i] [\sum_{i=1}^n y_i]}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - [\sum_{i=1}^n x_i]^2}$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - b \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Keterangan :  
 n : banyak pasangan data  
 yi : nilai peubah tak bebas Y ke-i  
 xi : nilai peubah bebas X ke-i

#### 2.2.3.4. Kenaikan Suhu Udara Pelabuhan Tanjung Perak

Suhu udara Tanjung Perak Surabaya yang didapatkan dari BMKG maritime Perak dianalisa menggunakan rumus dibawah ini :

$$\bar{T} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

Keterangan :  
 T adalah suhu udara rata-rata, harian (°C)  
 Tmax adalah suhu udara maksimum harian (°C)  
 Tmin adalah suhu udara minimum harian (°C)

Untuk mendapatkan nilai rata-rata suhu udara harian, sedangkan untuk mendapatkan nilai suhu bulanan menggunakan rumus dibawah ini :

$$\bar{T}_B = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{T}}{n}$$

Keterangan :  
 $\bar{T}_B$  adalah suhu udara rata-rata harian dalam satu bulan (°C)  
 $\bar{T}$  adalah suhu udara rata-rata harian (oC)  
 n adalah jumlah hari dalam satu bulan

Dari nilai suhu udara rata-rata harian dalam satu bulan kemudian diplotkan dalam bentuk grafik maka akan terlihat trend kenaikan suhu udara wilayah Tanjung Perak Surabaya yang merupakan dampak dari pemanasan global.

#### 2.2.3.5. Topografi Kota Surabaya

Topografi kota Surabaya dibuat dengan cara interpolasi titik-titik yang mempunyai nilai tinggi atau Z value. Proses interpolasi nilai elevasi dilakukan dengan menggunakan bantuan Software ER Mapper dengan menggunakan metode Triangulation All Minimum Curvature menjadi format raster.

Nilai titik tinggi yang didapatkan dari peta rupa bumi Indonesia dan DEM SRTM dijadikan dalam satu layer, dan disimpan dalam format \*.txt . Secara spasial data xyz tersebar tidak teratur (irregular). Untuk mengisi data xyz maka dilakukan interpolasi dan ekstrapolasi terhadap titik-titik yang memiliki data. Proses interpolasi dan ekstrapolasi ini akan menambah jumlah titik dari jumlah data yang ada. Penambahan titik dilakukan secara teratur (regular) keseluruhan daerah pemetaan dengan jarak yang tetap. Proses ini sering disebut dengan proses gridding.

Hasil akhir dari proses gridding berupa peta kontur yang kemudian dioverlay dengan peta Surabaya. Dari hasil overlay dapat diketahui nilai ketinggian daratan sehingga mempermudah untuk mendapatkan daerah yang ketinggiannya berada dibawah ketinggian permukaan air laut.

#### 2.3.3.6. Daerah Genangan Rob

Daerah genangan rob didapatkan dengan memasukkan nilai pasang tertinggi dalam 2 tahun terakhir yang diplotkan kedalam DEM pesisir Surabaya. Nilai ketinggian yang berada dibawah pasang tertinggi merupakan wilayah yang tergenang air laut. Hasil yang tergenang dihitung luasnya sehingga diketahui seberapa besar dampak kenaikan muka air laut terhadap wilayah Pesisir Surabaya. Untuk genangan air laut pada tahun 2019, 2059 dan 2109 didapatkan dari perhitungan regresi linier sehingga didapatkan nilai rata-rata kenaikan muka air laut tahunan. Dari nilai rata-rata kenaikan muka air laut tahunan didapatkan nilai ketinggian pasang tertinggi dari tahun tersebut dengan menjumlahkan nilai pasang tertinggi tahun 2009 dengan kenaikan muka air laut pada tahun itu. Nilai pasang tertinggi dari tahun peramalan diplotkan dalam DEM pesisir Surabaya.

### III. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Hasil

Hasil ini meliputi pasang surut, fluktuasi muka air laut di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya berdasarkan data pasang surut, fluktuasi muka air laut di Perairan Surabaya dari data satelit altimetri, perubahan temperatur udara di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, dan daerah yang tergenang oleh air laut.

##### 3.1.1. Pasang Surut

Hasil perhitungan didapatkan nilai rata-rata konstanta harmonik pasang surut yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai rata-rata konstanta harmonik pasang surut Perairan Surabaya berdasarkan metode admiralti Periode 2008-2009 .

Konstanta Harmonik Pasang (cm)										F	LLW	MSL	HHW
So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4				
160,88	32,94	32,96	6,07	7,35	38,93	23,58	12,83	2,29	2,92	0,97	2,17	160,88	314,58

- Pengolahan data sekunder

Dari tabel 2. diatas diketahui nilai MSL rata-rata di perairan Surabaya yaitu sebesar 160,88 cm dengan tipe pasang surut campuran cenderung ganda karena nilai bilangan Formzahl yaitu 0,97 berada diantara 0,26 dan 1,50 (  $0,26 < F < 1,50$  ). Tipe ini menyebabkan terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi berbeda dalam tinggi dan waktunya. (Pariwono, 1989)

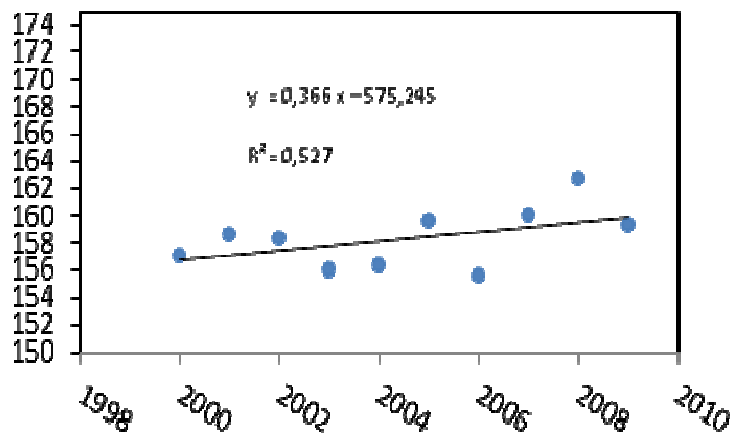
##### 3.1.2. Fluktuasi Muka Air Laut di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya Berdasarkan Data Pasang Surut

Dari tabel 2 dapat dilihat nilai MSL bulanan dan tahunan yang cenderung fluktuatif yang digambarkan pada gambar 1. Nilai MSL tertinggi terjadi pada tahun 2008 dengan rata-rata MSL tahunan yaitu 162,11 cm.

Tabel 2. MSL Bulanan di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya 2000 –2009.( data Satuan cm)

Waktu	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	Oct	nov	dec	rata-rata
2000	154,7	153,8	157,1	158,4	162,5	160,9	160,8	155,1	153,5	152,4	156,9	158,7	157,06
2001	158,8	158,4	159,8	161,3	167,3	164,2	162,8	153,3	149	151,8	160,6	156,4	158,65
2002	153,3	162,7	-	-	-	-	156,4	162,7	-	-	156,7	157,8	158,25
2003	164,4	162	157	160	167,4	159,7	146,7	144,1	149,9	158,1	149,9	152	155,94
2004	151,3	141,2	153,4	161,2	166,6	163,1	164,5	151,8	152,4	149,3	160,2	160,5	156,29
2005	160,6	158,1	149,4	158,3	165,2	165,6	164,5	153,5	152,6	156,6	167,1	163,6	159,57
2006	153	151,3	163,2	173,5	168,6	153,1	148,7	155,3	149	161,9	146,4	143,7	155,64
2007	144,3	152,6	166,4	174,1	172,4	161,6	157,3	155,9	154,3	155,7	164,4	161,5	160,04
2008	164,4	160,9	162,3	163,6	167,7	167,8	171,2	160,2	157,9	155,9	155,4	158,2	162,11
2009	151,6	155,4	159,3	159,6	164,9	166,5	164,2	157,7	154	157,6	163,2	163,9	159,81

Sumber : Pelindo III cabang Perak Surabaya (Pengolahan data sekunder)

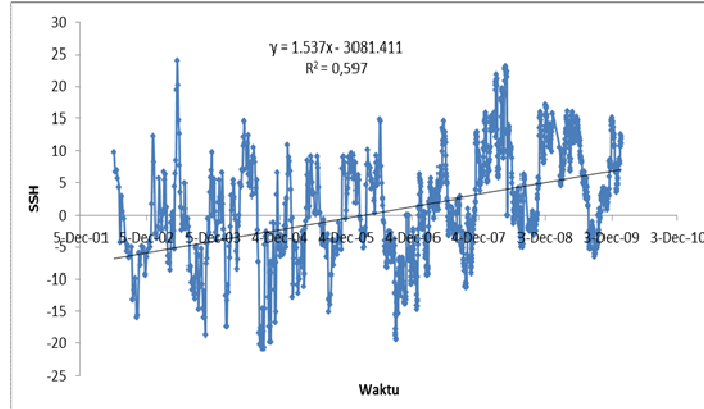


Gambar 1. Grafik MSL Rata-rata Tahunan di Pelabuhan Tanjung Perak Tahun 2000-2009

Sumber : Pengolahan data sekunder

### 3.1.3. Fluktuasi Muka Air Laut di Perairan Surabaya Berdasarkan Data Satelit Altimetri

Perhitungan nilai rata-rata SSH ( Sea Surface Height ) dari dua satelit Altimetri yaitu Jason dan Topex ditunjukkan pada gambar 2. Dari gambar 2 diketahui nilai SSH ( Sea Surface Height ) yang fluktuatif. Nilai SSH dari bulan Juli 2002 sampai Januari 2010 terjadi trend kenaikan sebesar 1,537 cm/tahun. Hasil ini didapatkan dari persamaan regresi liniernya yaitu  $y = 1,537x - 3081,411$  dengan  $R^2 = 0,597$ .



Gambar 2. SSH Tahunan Perairan Surabaya Bulan Juni 2002 – Januari 2010 Berdasarkan Satelit Jason dan Topex. (Sumber : Pengolahan data sekunder)

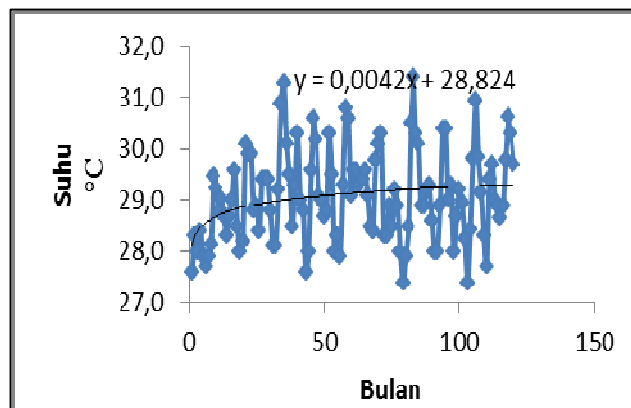
### 3.1.4. Perubahan Temperatur Udara di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

Hasil perhitungan didapatkan suhu udara rata-rata bulanan di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya yang dapat dilihat pada tabel 2. Dari tabel 5 diketahui nilai suhu rata-rata bulanan berkisar dari 27 oC sampai 30 oC. Nilai suhu rata-rata bulanan kemudian diplot kedalam grafik yang ditunjukkan pada gambar 3.

Tabel 2. Suhu Udara Rata-rata Bulanan di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

Tahun/bulan	jan	feb	mar	apr	mei	juni	juli	agust	sept	okt	nov	des
2000	27,6	28,3	28,0	28,4	27,9	27,7	27,9	28,2	29,5	29,2	28,8	29,0
2001	28,7	28,3	28,7	29,0	29,6	28,5	28,0	28,2	30,1	29,9	29,9	28,8
2002	28,9	28,4	29,4	29,4	29,4	28,8	28,1	28,1	29,2	30,9	31,3	30,1
2003	29,5	28,5	29,3	30,3	29,0	28,8	27,6	28,0	29,6	30,6	30,2	29,1
2004	29,0	28,7	28,8	30,3	29,5	28,0	28,3	27,9	29,3	30,8	30,6	29,1
2005	29,6	29,6	29,3	29,4	29,6	29,1	28,5	28,4	29,8	30,1	30,3	28,3
2006	28,3	28,9	28,5	29,2	28,9	28,0	27,4	27,9	28,5	30,5	31,4	30,3
2007	30,1	28,9	28,9	29,2	29,3	28,6	28,0	28,0	28,9	30,4	30,4	29,0
2008	29,3	28,0	28,7	29,2	28,9	28,3	27,4	28,4	29,8	30,9	29,8	29,2
2009	28,3	27,7	29,4	29,7	29,0	28,9	28,7	28,9	29,8	30,6	30,3	29,7

sumber : pengolahan data sekunder



Gambar 3. Suhu Udara Rata-rata Bulanan di Tanjung Perak Tahun 2000-2009 (sumber : pengolahan data sekunder)

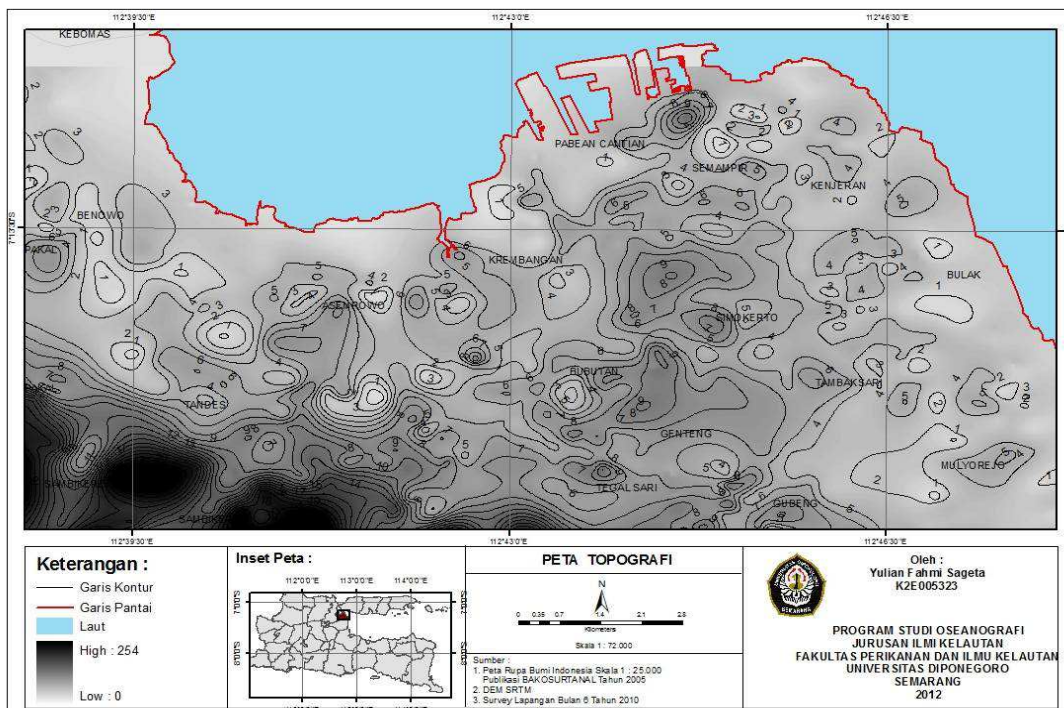
### 3.1.5. Daerah Genangan Rob

Daerah genangan rob dibuat menggunakan nilai rata-rata pasang tertinggi selama 2 tahun terakhir yaitu tahun 2008-2009, dimasukan kedalam DEM kota Surabaya Daerah yang memiliki ketinggian kurang dari nilai rata-rata pasang tertinggi akan tergenang air laut. Daerah yang tergenang air laut meliputi Kecamatan Kebomas, Kecamatan Benowo, Kecamatan Semampir, Kecamatan Pabean Cantikan, Kecamatan Kenjeran, Kecamatan Pakal, Kecamatan Bulak, Kecamatan Asemrowo, Kecamatan Tambaksari, Kecamatan Tandes, Kecamatan Mulyorejo, Kecamatan Gubeng, Kecamatan Sukolilo, dan Kecamatan Krembangan. Luas daerah yang tergenang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Luas Genangan Air Laut di Beberapa Kecamatan

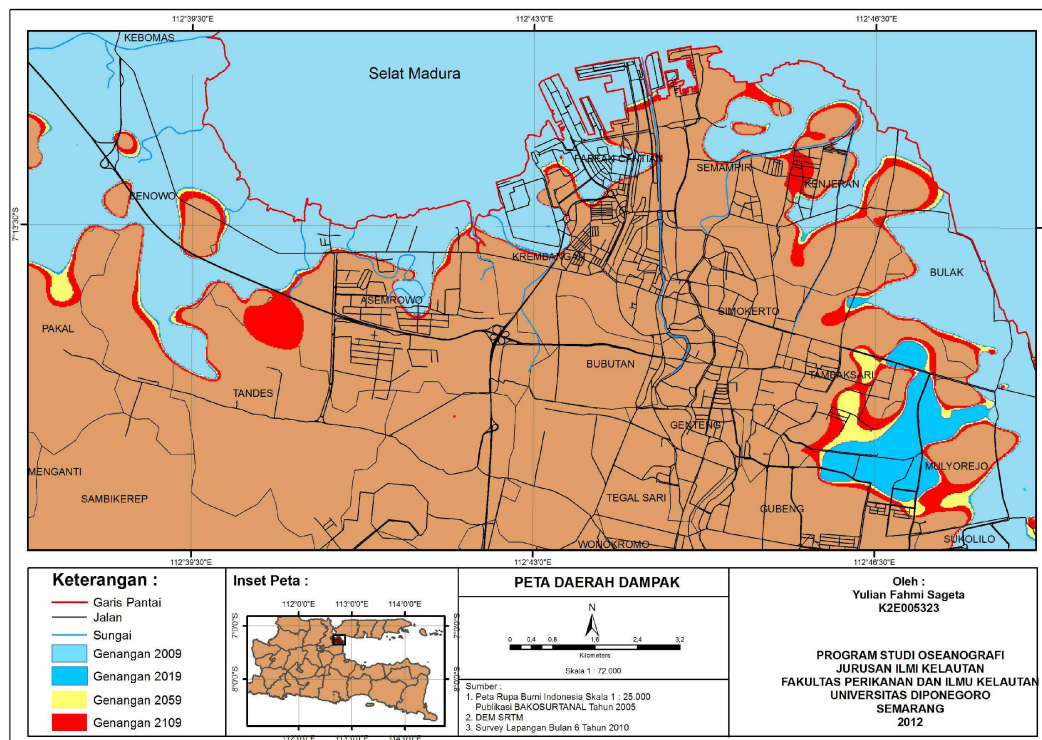
No.	Kecamatan	Luas Kec (km <sup>2</sup> )	Rob 2009 ( km <sup>2</sup> )	Rob 2019 (km <sup>2</sup> )	Rob 2059 (km <sup>2</sup> )	Rob 2109 (km <sup>2</sup> )
1	Benowo	20,50	13,76	13,89	14,35	15,07
2	Semampir	9,56	1,47	1,51	1,68	2,06
3	Krembangan	9,37	2,40	2,43	2,56	2,78
4	Pabean Cantikan	5,38	2,14	2,58	2,24	2,38
5	Kenjeran	7,63	2,54	2,62	2,93	3,84
6	Pakal	23,69	1,82	1,84	2,11	2,39
7	Bulak	6,62	4,76	4,80	5,03	5,45
8	Asemrowo	16,33	5,17	5,21	5,42	6,12
9	Tambaksari	9,69	0,64	1,44	2,31	3,30
10	Tandes	11,90	0,52	0,53	0,59	1,22
11	Mulyorejo	13,36	4,32	6,44	7,14	8,03
12	Gubeng	8,21	-	0,49	0,56	0,67
13	Sukolilo	28,90	3,04	3,06	3,17	3,39
	Jumlah	174,82	42,57	46,84	51,31	56,70

Sumber : Pengolahan data sekunder.



Gambar 4. Peta Ketinggian Kota Surabaya (Sumber : Pengolahan data sekunder)





Gambar 5. Peta Sebaran Banjir Rob di Surabaya (Sumber : Pengolahan data sekunder)

### 3.2. Pembahasan

Pembahasan meliputi analisa harmonik pasang surut, fluktuasi muka air laut di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, dan model genangan air laut.

#### 3.2.1. Analisa Harmonik Pasang Surut

Hasil perhitungan konstanta harmonik pasang dari tahun 2008-2009 maka didapatkan nilai bilangan Formzahl yaitu sebesar 0,97, berada diantara  $0,25 < F < 1,5$  maka perairan Surabaya memiliki tipe pasang campuran cenderung ganda. Hasil ini sesuai dengan penelitian Pariwono (1985) dalam peta sifat-sifat pasang di perairan Asia yang menunjukkan bahwa perairan Surabaya memiliki tipe campuran cenderung ganda. Berdasarkan penelitian yaitu Danu (2006) yang menggunakan perhitungan pasang dengan metode admiraliti mendapatkan tipe pasang di perairan Surabaya adalah campuran cenderung ganda. Kondisi campuran cenderung ganda didominasi di perairan Indonesia timur. Kondisi ini menyebabkan dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang berbeda. Kondisi demikian menyebabkan banjir rob dalam satu hari terjadi dua kali dengan ketinggian yang berbeda.

Dalam siklus sinodik yaitu siklus peredaran bulan dari bulan mati ke bulan mati berikutnya selama 29,5 hari maka dalam 1 bulan terdapat dua kali pasang tertinggi (pasang purnama) yaitu saat terjadi bulan purnama dan bulan mati dan dua kali pasang terendah (pasang perbani).

#### 3.2.2. Fluktuasi Muka Air Laut di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

Fluktuasi muka air laut di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya ditunjukkan pada gambar 1. Nilai MSL rata-rata tahunan tertinggi terjadi pada tahun 2008 yaitu sebesar 162,12 cm ini terjadi karena pada tahun ini nilai pasang yang terjadi sangat tinggi dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Nilai MSL tahunan terendah terjadi pada tahun 2006, nilai pasang pada tahun ini sangat kecil dibandingkan tahun-tahun sebelumnya maupun sesudahnya. Pada tahun 2006 terjadi El-Nino yang menyebabkan suhu permukaan laut menurun dan menurunnya intensitas hujan sehingga pasang yang terjadi sangat kecil. Nilai fluktuasi terbesar terjadi antara tahun 2006-2007 yaitu sebesar 4,4 cm, penyebabnya adalah perubahan dari fase El-Nino ke normal. Tahun 2005-2006 fluktuasinya sangat kecil yaitu sebesar -3,93 cm karena terjadi perubahan fase dari normal ke El-Nino.

Gambar 1 menunjukkan trend kenaikan muka air laut rata-rata bulanan mengikuti pola linier dengan persamaan  $y = 0,366x - 575,245$  dengan  $R^2 = 0,527$  dimana  $y = \text{MSL (cm)}$  dan  $x = \text{tahun}$ , dengan demikian kenaikan muka air laut dalam 1 tahun yaitu sebesar 0,366 cm. Kenaikan ini sama dengan yang telah diperkirakan oleh IPCC (2001), yaitu 0,15 - 0,75 cm/tahun.

Fungsi linier  $y = 0,366x - 575,245$  merupakan fungsi dari kenaikan muka air laut rata-rata di perairan Surabaya yang pada tahun-tahun mendatang dapat berubah tergantung pada perubahan



kenaikan muka air laut global dan faktor lokal yang menyebabkan kenaikan muka air laut. Berdasarkan data satelit Jason-1 yang diluncurkan sejak tahun 2002 terjadi fluktuasi muka air laut dimana nilai SSH tertinggi terjadi pada tahun 2008 yaitu sebesar 8,36 cm. Nilai SSH terendah terjadi pada tahun 2006 yaitu sebesar -5,33 cm. Untuk fluktuasi terbesar terjadi pada tahun 2007-2008 yaitu sebesar 7,71 cm. Fluktuasi terkecil pada saat tahun 2005-2006 yaitu sebesar -4,06 cm. Pengaruh El-Nino sangat dominan terhadap nilai SSH. Gambar 2 menunjukkan trend kenaikan muka air laut yaitu sebesar 1,537 cm. Pengamatan ini lebih tinggi dari pengamatan Nurmaulia et al (2005) yang menggunakan satelit altimetri Topex (1992-2002) yaitu 1,11 cm/tahun.

Kenaikan permukaan air laut tidak lepas dengan kenaikan suhu secara global berdasarkan data temperatur udara yang diperoleh dari BMKG Maritim Perak menunjukkan adanya kenaikan sebesar 0,0042°C setiap bulannya atau sekitar 0,0504°C setiap tahunnya. Suhu udara mempengaruhi kerapatan partikel air semakin tinggi suhu udara maka kerapatan partikel semakin renggang atau sering disebut pemuaian, pemuaian menyebabkan volume air laut bertambah sehingga menyebabkan kenaikan muka air laut.

### 3.2.3. Daerah yang Terkena Dampak

Daerah yang tergenang oleh banjir rob ditunjukkan pada gambar 5, untuk luas daerah yang tergenang ditunjukkan pada tabel 3. Karakteristik Kota Surabaya yang sangat landai dengan kemiringan 0-2%, yaitu 80% daerahnya terletak pada dataran rendah mengakibatkan daerah yang tergenang cukup luas.

Apabila tidak segera ditanggulangi maka dampak kenaikan muka air akan bertambah luas. Bertambah luasnya dampak akan menyebabkan kerusakan secara fisik yaitu dengan rusaknya fasilitas umum seperti jalan raya, intrusi air laut yang semakin luas, tergenangnya daerah pemukiman dan kawasan perindustrian.

## IV. Kesimpulan dan Saran

### 4.1. Kesimpulan

Berdasarkan data pasang fluktuasi terbesar terjadi pada tahun 2006-2007 yaitu 4,4 cm, terkecil terjadi pada tahun 2005-2006 sebesar -3,93 cm. Untuk data satelit altimetri fluktuasi terbesar pada tahun 2007-2008 yaitu 7,71 cm, sedangkan yang terkecil terjadi pada tahun 2005-2006 sebesar -4,06 cm. Berdasarkan regresi linier kenaikan muka air laut perairan Surabaya berdasarkan data pasang surut sebesar 0,366 cm/tahun. Dari data satelit Altimetri terjadi kenaikan sebesar 1,537 cm/tahun. Kenaikan muka air laut menyebabkan sebagian besar wilayah daratan tergenang oleh air laut, dengan total luas genangan pada tahun 2009 yaitu 42,57 km<sup>2</sup>.

### 4.2. Saran

Kenaikan muka air laut merupakan fenomena yang sangat kompleks, maka perlu dilakukan pengkajian faktor-faktor yang mempengaruhi kenaikan muka air laut seperti penurunan tanah, pencairan es global, pengaruh ENSO yang berkontribusi terhadap kenaikan muka air laut. Dampak kenaikan muka air laut apabila tidak segera ditanggulangi akan mengakibatkan banyak kerugian baik fisik maupun sosial.

## Daftar Pustaka

- BPS. 2008 . *Profil Kota Surabaya*. Pemerintah Provinsi Surabaya
- Dahuri, R. 1996. *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir Dan Lautan Secara Terpadu*. Pradnya Paramita. Jakarta. 305 hlm.
- Danu, A. 2006. *Studi Variasi Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata ( Mean Sea Level/ MSL ) di Kawasan Surabaya Berdasarkan Periode Tahunan*. Institut Teknologi Sepuluh November.Surabaya.
- Pariwono, Jhon I.1995. *Keragaman Muka Laut Sepanjang Tepi Luar Pantai Kepulauan Sunda Besar*. Fakultas Perikanan Institut Pertanian Bogor, hlm 4-5.
- Triatmodjo, B., 1999. *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta. 362 hlm